台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 75(1):103–116 (2026)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202603_75(1).0006

研究報告

次氯酸鹽溶液防治紅龍果採後濕腐病之效果評估

林筑蘋[1] 黃巧雯[1] 黃晉興[2] 蔡志濃[3] 徐敏記[4,*]

摘要

林筑蘋、黃巧雯、黃晉興、蔡志濃、徐敏記。2026。次氯酸鹽溶液防治紅龍果採後濕腐病之效果評估。台灣農業研究 75(1):103–116。

紅龍果 (*Hylocereus* spp.) 為具重要經濟價值的作物之一，而由 *Gilbertella persicaria* 於田間與採後引起的濕腐病為紅龍果產業的重大問題。本研究旨在探討次氯酸鹽溶液 (pH 8.1–8.4) 對紅龍果果實採後濕腐病的防治效果。在培養基上抑制 *G. persicaria* 的試驗中，在菌絲方面，有效氯濃度到 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液仍未顯示出良好的抑制效果；而在孢子發芽方面，有效氯濃度達 150 mg L^{-1} 以上時，即可有效抑制孢子發芽。進一步以人工接種 *G. persicaria* 的方式，並以白肉種紅龍果果實為供試材料，結果顯示，於採後處理有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液處理 30–60 秒，可顯著降低濕腐病罹病級數 (依照發病面積低到高給予 0–4 級數)。針對處理時機的結果顯示，在接種後 12 小時內施用上開處理都可以顯著降低濕腐病罹病級數，但若超過 24 小時才處理，其罹病級數則與對照組無顯著差異；然而同樣的處理條件對紅肉種紅龍果人工接種濕腐病菌則無防治效果。此外，測試供試藥劑對田間自然感染果實的採收後處理效果，顯示施用有效氯濃度 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液條件後，白肉種果實的濕腐病平均發病率由未施用的 43.0 ± 6.7% 降為 9.4 ± 4.5%，防治率達 79.0 ± 11.3%；然而，在紅肉種果實上反而造成更嚴重濕腐病發病率，平均發病率由未施用的 43.0 ± 20.8% 提升為 69.2 ± 13.9%。本研究使用的次氯酸溶液處理有助於降低白肉種紅龍果的濕腐病，而紅肉種紅龍果的採後處理條件則尚需另外評估。

關鍵詞：*Gilbertella persicaria*、採後處理、最適濃度與時間、處理時機。

前言

臺灣種植的紅龍果 (pitaya, dragon fruit) 大致可分為白肉種與紅肉種，其中白肉種又稱『紅皮白肉種』(*Hylocereus undatus* Britt. & Rose)；紅肉種則分為『紅皮紅肉種』(*H. polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) 與『紅皮紫肉紅龍果』(*H. costaricensis* (Weber) Britt. & Rose) (Huang & Lin 2009)。但因為多年來引進的種類繁多，加上民間自行育種，以致紅肉品系繁雜、紫肉種及紅肉種難以區分 (Chang 2006)，因此紅肉種果實或統稱為『改良紅肉種』(*H. polyrhizus*; *H. costaricensis*) (Liu & Yu 2021)，本文後續簡稱為『紅肉種』。

由 *Gilbertella persicaria* (E. D. Eddy) Hesselt 引起的紅龍果病害，可造成田間莖部、花器、幼果及成熟果採後病害，在臺灣、中國大陸、泰國、墨西哥、日本及越南等地引起嚴重的損失 (Taba *et al*. 2011; Guo *et al*. 2012; Lin *et al*. 2014; Carrillo-Fasio *et al*. 2022; Vo *et al*. 2024)。在臺灣，已知 *G. persicaria* 可造成田間花器、幼果，以及採收後成熟果實腐爛，稱為『紅龍果濕腐病』(Lin *et al*. 2014)。其中 *G. persicaria* 偏好於高溫高濕生長 (Lin

投稿日期：2025 年 9 月 5 日；接受日期：2025 年 10 月 30 日。
[*] 通訊作者：mchsu@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所植物病理組助理研究員。臺灣 臺中市。
[2] 農業部農業試驗所植物病理組研究員。臺灣 臺中市。
[3] 農業部農業試驗所植物病理組研究員兼組長。臺灣 臺中市。
[4] 農業部農業試驗所作物組副研究員。臺灣 臺中市。

et al. 2014; Taba *et al*. 2022)，受感染的成熟果實若環境不適合不會發病，外觀看似正常；待貯藏或經過常溫宅配等高溫高濕的環境下才會發病，且發病進展快，數日內即可造成全顆果實腐爛，為常溫下紅龍果採收後最棘手的病害之一。為與田間花期濕腐病作區別，特將此稱為『紅龍果採後濕腐病』(Lin *et al*. 2020)。

防治紅龍果採後濕腐病的文獻有限，Vo *et al*. (2024) 探討根圈細菌防治 *G. persicaria* 的可能性；Li *et al*. (2019) 亦發現紅龍果處理以 β-胺基丁酸 (β-aminobutyric acid) 可降低 *G. persicaria* 對果實的危害，然而防治效果僅限在培養基或實驗室階段。果實消毒是指針對果實上的微生物達到消除活性的目的。在過去數十年來國內外均有對新鮮蔬果進行採後處理的相關消毒方式 (Pao *et al*. 2007; Zhou *et al*. 2021)。次氯酸鹽類已被證實對多種植物細菌、卵菌及病毒具有殺菌效果，殺菌成分包括次氯酸 (hypochlorous acid; HOCl) 與次氯酸鹽 (hypochlorite; OCl^-)，具強氧化能力可破壞微生物的細胞壁、細胞膜或外殼，進而達到抗菌功效，且取得方便，早已被應用在農業供採收後處理 (Copes & Ojiambo 2021; Boecker *et al*. 2023)。目前次氯酸鹽類用於紅龍果的病害防治效益尚未有相關報告，但在萵苣、木瓜、蘋果、藍莓、草莓及哈密瓜等蔬果上的試驗可知，施用氯系藥劑有助降低櫥架期間病原菌或其他微生物含量，進而延長櫥架壽命 (Shin *et al*. 2012; Chiabrando *et al*. 2017; Copes & Ojiambo 2021; Getnet *et al*. 2023)。美國亦曾建議保持洗滌槽與水槽 3,000 與 6,000 mg L^{-1} 之氯 (chlorine) 濃度以各別控制番茄與柑橘腐敗 (Suslow 2000)。

本研究探討次氯酸鹽溶液對抑制 *G. persicaria* 生長的效果，以及測試次氯酸鹽防治紅龍果果實採後濕腐病之最適施用條件，並且討論次氯酸鹽溶液防治效果在白肉與紅肉種間的差異性及使用的限制性；進一步自田間或合作社蒐集外觀正常的果實，測試次氯酸鹽溶液應用於田間自然感染果實時的防治狀況。

材料與方法

試驗菌株與供試果實製備

本研究使用的 *G. persicaria* 菌株 F218061、F218072 以及 F216139 皆分離自罹染濕腐病之紅龍果 (*Hylocereus* sp.) 花或果實。罹病組織經 0.5% NaClO 表面消毒 30 秒，以擦手紙吸乾表面多餘水分後，放置於馬鈴薯葡萄糖瓊脂 (potato dextrose agar; PDA, BD Difco™, Franklin Lakes, NJ, USA) 平板培養基上，於室溫 (24–28℃) 下放置 1–2 日，切取自罹病組織長出之單一菌絲尖端，移植於新的 PDA 中培養，靜置於室溫下經黑暗培養 3 日，切取 10 × 10 × 0.5 mm^3 菌塊，移植於無菌礦物油 (100% mineral oil, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 中保存。本研究中用來測試果實適用之次氯酸鹽條件的白肉種 (*H. undatus*) 與紅肉種「大紅」(*Hylocereus* sp. cv ‘Da-Hong’)，購自臺中市外埔區與彰化縣二林鎮果園所產之果實。果實試驗前以自來水清洗果表，以 75% 酒精噴布整顆果實後，用紙巾擦乾。

次氯酸來源與濃度測定

次氯酸鹽溶液製作方式為以 50 g 氯化鈉 (臺鹽高級精鹽-未加碘；臺鹽實業，臺灣苗栗縣) 溶解於 5 L 之無菌水中，以次氯酸電解水製造系統 (型號 YH520G；奕泓環境科技有限公司，臺灣臺中市) 經電解產生含次氯酸、次氯酸根離子及氫氧化鈉的混合溶液。之後以酸鹼度測定儀 (Denver Instrument, Inc., Arvad, CO, USA) 測量pH值，並以 “eXact® Micro7+” (Industrial Test Systems, Inc., Rock Hill, SC, USA) 配合試劑 “eXact® Strip Micro HR” (試劑編號486672；Industrial Test Systems, Inc., Rock Hill, SC, USA) 測定有效氯濃度，並按照試驗需求於當日配置所需的濃度。配製好的溶液存放於避光、密閉的容器內，從確認濃度到使用完畢不超過 24 小時。經測試，有效氯濃度在至少 24 小時內皆維持穩定，未出現顯著降低的狀況。

次氯酸鹽在培養基上對菌絲與孢子的抑制效果

抑制孢子發芽測試

供試菌株以避光方式培養於馬鈴薯葡萄糖瓊脂培養基上 7 日 (28℃)，以塑膠滴管沾取表面之孢子堆，並混入裝有不同濃度次氯酸鹽的燒杯中。孢子與次氯酸混合液混合 1 分鐘後吸取 10 µL 至 PDA 培養基上，12 滴/皿。對照組

為孢子與無菌水混合。在避光與 28℃培養 16 小時後以光學顯微鏡計算孢子發芽數量。每次每菌株每組分別計數 500 個孢子計算出發芽率，試驗共重複 3 次。

菌絲生長抑制測試

以 0.5 mm 打孔器切取供試菌株菌絲邊緣，將菌絲塊挑起個別放入 0、50、100、150 或 200 mg L^{-1} 等次氯酸鹽溶液浸泡 1 分鐘後，將菌絲塊挑起，放置於紙巾上吸乾多餘水分，將菌絲面朝下平貼於 PDA 中央，28℃培養 24 小時後進行測量。對照組為菌絲塊放入無菌水中。每菌株每處理進行 4 皿得每次平均值，試驗共進行 3 次重複。

次氯酸鹽溶液處理果實最適條件試驗

病原菌接種

以 *G. persicaria* F218061 分離株為供試菌株。孢子懸浮液製備方式與接種方式如 Lin *et al*. (2014) 所示，惟修改為以 5 × 10^4 spores mL^{-1} 孢子懸浮液噴灑接種果實，直到每粒供試果實有水滴滑落後，再放置於室溫等待下一步處理。

最適使用濃度與時間

待測果實為白肉種紅龍果。於找出最適浸泡濃度的試驗中，果實於接種病原菌的 0.5 小時後 (hour-post inoculation; hpi)，各別浸泡 50、100、150、200 mg L^{-1} 等不同有效氯濃度之次氯酸鹽溶液 1 分鐘，每組 4–8 粒果實 (biologicalreplicates，生物重複數)，試驗重複 5 次 (experimental repeats)；於最適濃度與其浸泡時間的試驗中，果實則是於 0.5 hpi 各別浸泡 100 mg L^{-1} 之次氯酸鹽溶液 1、5 或 10 分鐘、200 mg L^{-1} 之次氯酸鹽溶液 1、5 或 10 分鐘，每處理 5–7 粒果實，試驗重複 4 次。對照組為接種後不經過浸泡次氯酸鹽溶液的『未處理組 (untreated)』，以及無菌水取代次氯酸溶液的『水處理組 (water)』，浸泡時間固定為 1 分鐘。浸泡時輕攪動果實使果實在溶液中輕輕滾動。經浸泡過次氯酸溶液後，直接將果實放置於半密閉容器內，於 24–30℃、濕度 RH > 95%，以及避光的環境，4–5 日後觀察濕腐病發病狀況 (Lin *et al*. 2014)。

於紅肉種果實測試時，接種條件同上，但以紅肉「大紅」品種為供試植物，並於 0.5–3 hpi 處理以次氯酸鹽 30 秒。對照組為接種後不再經過處理的『未處理組』，以及無菌水取代次氯酸溶液的『水處理組』。試驗重複 3 次，每組 7 粒果實。

最適使用時機

以白肉種果實供試，每一次皆是以同一批果實均分成 9 組 (未處理組、處理組及水對照組各 4 個感染後時間點)，每組 7 粒果實，並且同時接種，各自於 0.5、6、12、24 hpi，以有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液 (pH 8.1–8.4) 或水，放置於 24–30℃、保持濕度 RH > 95% 且避光的環境，統一於接種 4–5 日後觀察濕腐病發病狀況。本試驗共重複 6 次，其中 3 次為浸泡次氯酸鹽溶液 30 秒，另外 3 次為浸泡 60 秒。

次氯酸鹽溶液對田間自然感染果實的防治試驗

於 2022–2024 年間的 7–9 月俟紅龍果濕腐病好發季節，至紅龍果主要產區購買當天上午 6:00–8:00 左右採收之果實，包括白肉與「大紅」品種。果實來源包括位於彰化縣二林鎮的合作社 (保證責任彰化縣原斗果菜生產合作社) 收購的果實或者直接向農友 (彰化縣二林鎮、臺中市外埔區及南投縣集集鎮) 購買已裝箱的果實，於上午 11:00 前回實驗室進行處理。處理組之果實浸泡次氯酸鹽溶液 (有效氯 200 mg L^{-1}，pH 8.1–8.4) 30 秒後，放置於 24–30℃、RH > 95%、避光的環境 4–5 日後觀察濕腐病發病狀況。對照組 (未處理組) 則未浸泡次氯酸鹽溶液。每組生物重複數 9 粒以上，視當日果農採收狀況而定。

統計方法與繪圖

孢子發芽抑制率

當發芽管長度大於孢子長度 1/2 視為發芽。孢子發芽抑制率為 (對照組發芽率 − 處理組發芽率)/(對照組發芽率) × 100%。

菌絲生長抑制率

由於菌株 28℃下於 2 日內即長滿直徑 9 cm

之培養基，因此每皿每日生長速率計算方法為 (生長滿 1 日之菌落半徑 /1 日) × 100%。菌絲生長抑制率為 [(對照組每日生長速率 – 處理組每日生長速率)/ 對照組每日生長速率] × 100%。

罹病級數 (disease index)

分為 5 級 (0：無病徵；1：罹病面積 < 25%；2：罹病面積 > 25%，< 50%；3：罹病面積 > 50%，< 75%；4：罹病面積 > 75%，< 100%)。

發病率

計算方式為：(罹染濕腐病果實數量/全部果實數量) × 100%。防治率為：[(未處理組的發病率 – 處理組發病率)/未處理組發病率] × 100%。

統計方法

菌絲與孢子發芽抑制率方面，因為不同分離株對次氯酸鹽溶液的敏感度即具有差異，各試驗間包含分離株差異與試驗差異共 2 個變因，為瞭解次氯酸鹽的影響性，利用統計分析軟體 Microsoft Office Excel™ 2010 (Microsoft, Redmond, WA, USA) 進行雙因子變方分析 (two-way analysis of variance; two-way ANOVA)；最後以費雪最小顯著性差異法 (Fisher's least significant difference; LSD) 測驗在 $P < 0.05$ 顯著水準下，比較處理間平均值之差異。果實罹病級數與發病率方面，係利用 JASP 0.19.3.0 版統計分析軟體 (Love *et al*. 2019) 先進行無母數單因子變異數分析之 Kruskal-Wallis 檢定，確認 $P < 0.01$ 後，再以 Dunn's test 進行事後檢定比較處理間平均值之差異，並且以更嚴謹之 Holm 校正法取得校正後之 P 值 (P_{Holm})。按照試驗樣本的變異程度與試驗目的，檢定時採用的數值結構以及顯著水準有所差異。在人工感染防治試驗中，罹病級數的檢定方式為取每次各處理組內生物重複數之平均罹病級數為該次試驗該處理之代表數據，再以這些試驗重複之平均值進行各處理間的差異分析，以校正後的 $P_{Holm} < 0.1$ 視為具顯著差異性。在田間感染防治試驗中，分析平均罹病級數時，僅比較同一次試驗內處理組間的生物重複數據差異，$P_{Holm} < 0.05$ 作為顯著水準；發病率以各次試驗的發病率作為重複值進行統計分析。

繪圖

盒鬚圖 (box-and-whisker plot) 係以 Microsoft Office 365 中的 Excel 軟體繪製，並以 PowerPoint 協助繪製。

結果

次氯酸鹽溶液對 *Gilbertella persicaria* 菌絲與孢子抑制率

為瞭解次氯酸鹽對 *G. persicaria* 的抑制狀況，以 F218061、F218072 及 F216139 為供試菌株，測試在培養基下 (*in vitro*)，不同有效氯濃度的次氯酸鹽溶液對菌絲與孢子抑制的狀況 (表 1)。菌絲生長抑制方面，有效氯濃度 50、100 及 150 mg L^{-1} 對 *G. persicaria* 菌株的平均孢子發芽抑制率在 1.4 ± 0.9% 至 10.5 ± 7.6% 間，無顯著差異；雖然有效氯濃度 200 mg L^{-1} 的平均菌絲生長抑制率顯著高於 50 與 100 mg L^{-1} ($P < 0.05$)，然而僅 19.9 ± 7.6%，仍未超過 50%。孢子發芽抑制方面，有效氯濃度 150 mg L^{-1} 下的平均孢子發芽抑制率超過 50%，為 59.6 ± 17.3%，顯著高於 50 與 100 mg L^{-1} ($P < 0.05$)；而有效氯濃度 200 mg L^{-1} 下的平均孢子發芽抑制率為 100 ± 0.0%，顯著高於 50、100 及 150 mg L^{-1} (顯著水準為 $P < 0.05$)。

最適次氯酸鹽溶液之使用濃度與時間

為找到最適之浸泡濃度，白肉紅龍果果實於接種 *G. persicaria* 的 0.5 hpi，浸泡不同有效氯濃度之次氯酸鹽溶液 1 分鐘，觀察罹病狀況 (圖 1)。結果顯示，以有效氯 50 與 100 mg L^{-1} 處理的果實，其罹病狀況對比於對照用的水處理組與未處理組沒有顯著差異，平均罹病級數介於 1.2–2.1 間；處理以有效氯 150 與 200 mg L^{-1} 者，其平均罹病級數皆為 0.6，兩者間沒有顯著差異，而較對照組顯著降低 (顯著水準為 $P_{Holm} < 0.1$)。

為找到最適濃度與其浸泡時間，果實於接種 0.5 hpi，以有效氯濃度 100 與 200 mg L^{-1} 之次氯酸鹽溶液各自浸泡不同時間後，觀察罹病

表 1. 不同有效氯濃度次氯酸鹽溶液在培養基上對於 *Gilbertella persicaria* 的孢子發芽與菌絲生長抑制效果。

Table 1. Comparison the effect of available chlorine concentrations in hypochlorite (OCl^-) solutions on inhibiting *Gilbertella persicaria* spore germination and hyphal growth.

Available chorine concentration (mg L^{-1})	Hyphae growth inhibition rate (%)[z]				Spore germination inhibition rate (%)[y]			
	F218061	F218072	F216139	Average	F218061	F218072	F216139	Average
50	1.3 ± 1.2	3.0 ± 1.7	-0.2 ± 1.9	1.4 ± 0.9 a	23.5 ± 3.1	18.3 ± 8.7	8.0 ± 8.0	16.6 ± 4.6 a
100	3.9 ± 0.2	8.0 ± 1.6	1.6 ± 3.5	4.5 ± 1.9 a	36.1 ± 14.0	40.7 ± 22.6	19.7 ± 19.7	32.2 ± 6.4 a
150	6.8 ± 0.7	25.0 ± 7.8	-0.4 ± 3.7	10.5 ± 7.6 ab	68.1 ± 5.1	84.3 ± 6.7	26.3 ± 21.1	59.6 ± 17.3 b
200	11.9 ± 4.6	35.1 ± 3.5	12.7 ± 3.3	19.9 ± 7.6 b	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0 c

[z] Spore germination (SG) inhibition rate was calculated as: (SG rate of treatment – SG rate of control) / (SG rate of control) × 100%. This experiment was conducted 3 times, using 500 sporangial spores of each isolate for each time. Mean ± *SE*. Different letters indicate significant differences within each group ($P < 0.05$, two-way analysis of variance (two-way ANOVA), Fisher's least significant difference (LSD) test).

[y] Hyphae growth (HG) inhibition rate was calculated as: (HG rate of treatment – HG rate of control)/HG rate of control × 100%, HG rate = (diameter of 1 d post inoculation)/1 d × 100%. This experiment was conducted 3 times, with 4 replicates of each isolate for each time. Mean ± *SE*. Different letters indicate significant differences within each group ($P < 0.05$, two-way ANOVA, LSD test).

狀況 (圖 2)。在本次試驗中，有效氯 100 mg L^{-1} 濃度下，果實浸泡 1、5 及 10 分鐘後的平均罹病級數介於 2.1–2.6，較未處理組的 3.1 與水處理的對照組 2.8 的平均罹病級數稍低，但在統計上無顯著差異；有效氯 200 mg L^{-1} 下，果實浸泡 1 分鐘的平均罹病級數降低至 1.3，顯著低於水處理與未處理對照組，而果實浸泡 5 與 10 分鐘的平均罹病級數各自微幅提升至 1.9 與 2.1，對比水處理組與未處理對照組無顯著差異。綜合前述結果，以有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液浸泡處理 1 分鐘的果實平均罹病級數最低 (顯著水準為 $P_{\mathrm{Holm}} < 0.1$)。

為了進一步評估若將有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液處理時間縮短在 1 分鐘內，能否有助降低罹病級數，果實於接種 0.5 hpi 各自處理有效氯 200 mg L^{-1} 次氯酸鹽溶液不同秒數後，觀察罹病狀況 (圖 3)。本試驗僅以未處理組作為對照組，平均罹病級數為 1.5，而果實浸泡 10 秒的平均罹病級數為 0.9，雖有微幅降低但與未處理組相比並無顯著性差異；果實浸泡 30 秒者平均罹病級數降至 0.4，果實浸泡 60 秒者亦降為 0.5，顯著低於對照組。結果顯示，有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液下處理以 30 秒的果實罹病級數最低，60 秒的果實次之，但兩者結果相似，且在統計上無顯著差異 (顯著水準為 $P_{\mathrm{Holm}} < 0.1$)。

接種濕腐病後處理時間點與防治效益評估

為瞭解次氯酸防治紅龍果濕腐病的效益會不會受到感染時間長短影響，以白肉紅龍果果實供試，於接種後不同時間點處理次氯酸 200 mg L^{-1}、30–60 秒後，觀察果實罹病狀況 (圖 4)。本試驗與前面試驗結果 (圖 1、2) 不同的是，與未處理組的果實平均罹病級數 2.2 ± 0.1 相比，作為對照組之一的水處理者，於 0.5、6 及 12 hpi 之平均罹病級數亦降為 0.9 ± 0.2 到 1.4 ± 0.3 間，其中以 6 hpi 處理時罹病級數最低，雖然與未處理組在統計上沒有顯著性差異；直到 24 hpi 平均罹病級數升為 1.8 ± 0.5，與未處理無明顯差異。處理次氯酸鹽溶液方面，在 0.5、6 及 12 hpi 處理者平均罹病級數降低至 0.2 ± 0.1 到 0.5 ± 0.2 間，與未處理組相比具顯著性差異。雖然次氯酸鹽溶液處理組

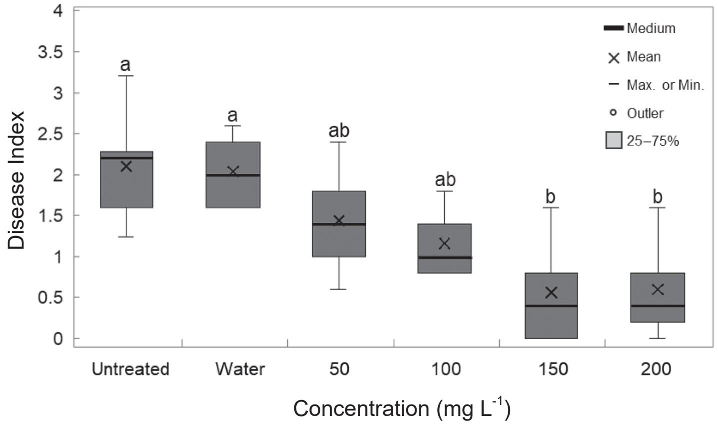

圖 1. 不同有效氯濃度的次氯酸鹽溶液對白肉種紅龍果果實濕腐病罹病級數之影響 (處理 1 分)。罹病級數 (disease index)：分為 0–4 級 (0：無病徵；1：罹病面積 < 25%；2：罹病面積 > 25–50%；3：罹病面積 > 50–75%；4：罹病面積 > 75–100%)。不同字母代表具顯著差異性 (Kruskal-Wallis 無母數檢定後，再以 Dunn's test 進行事後檢定，並以 Holm 校正法取得校正後之 P_{Holm} < 0.1)。

Fig. 1. Effect of different available chlorine concentrations in hypochlorite (ClO^-) solutions on the wet rot disease index of white-flesh pitaya fruit (treated for 1 min). Disease index was rated on a 0–4 scale (0: no symptom; 1: < 25%; 2: > 25–50%; 3: > 50–75%; 4: > 75–100% diseased area). Different letters indicate significant differences among treatments (Kruskal-Wallis test followed by Dunn's test with Holm correction, P_{Holm} < 0.1).

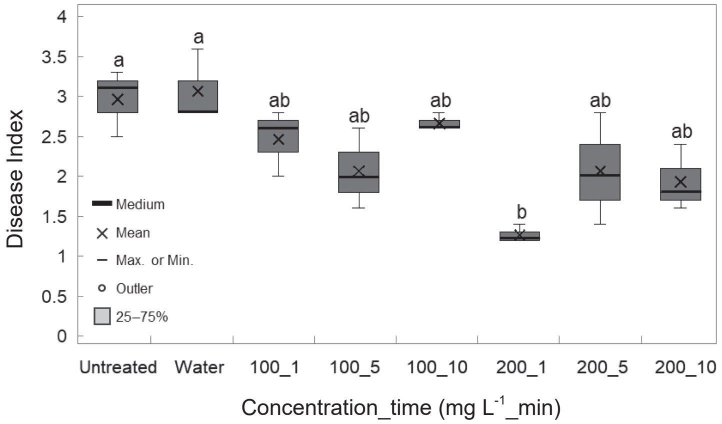

圖 2. 白肉種紅龍果以不同有效氯濃度的次氯酸鹽溶液處理不同時間 (分) 對於果實濕腐病罹病級數的影響。罹病級數 (disease index)：分為 0–4 級 (0：無病徵；1：罹病面積 < 25%；2：罹病面積 > 25–50%；3：罹病面積 > 50–75%；4：罹病面積 > 75–100%)。不同字母代表具顯著差異性 (Kruskal-Wallis 無母數檢定後，再以 Dunn's test 進行事後檢定，並以 Holm 校正法取得校正後之 P_{Holm} < 0.1)。

Fig. 2. Effect of different available chlorine concentrations in hypochlorite solutions and treatment durations (min) on the wet rot disease index of white-flesh pitaya fruit. Disease index was rated on a 0–4 scale (0: no symptom; 1: < 25%; 2: > 25–50%; 3: > 50–75%; 4: > 75–100% diseased area). Different letters indicate significant differences among treatments (Kruskal-Wallis test followed by Dunn's test with Holm correction, P_{Holm} < 0.1).

與水處理組相比無顯著差異，但仍可看出次氯酸鹽溶液處理組罹病級數出現降低的趨勢；其中以 6 hpi 處理者最低，12 hpi 次之，0.5 hpi 再次之，然三者間在統計上無顯著差異。直到 24 hpi，次氯酸處理組、水處理組及未處理組無明顯差異。由以上結果顯示，次氯酸鹽處理的防治效益在感染 *G. persicaria* 12 小時內 (顯著水準為 P_{Holm} < 0.1)。

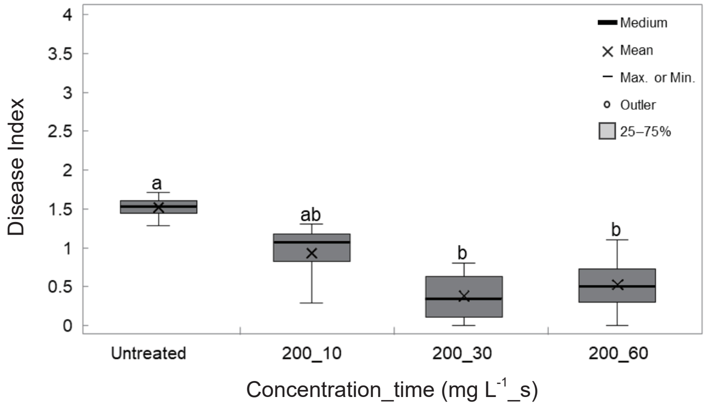

圖 3. 白肉種紅龍果以有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液處理不同時間 (秒) 對於濕腐病罹病級數的影響。罹病級數 (disease index)：分為 0–4 級 (0：無病徵；1：罹病面積 < 25%；2：罹病面積 > 25–50%；3：罹病面積 > 50–75%；4：罹病面積 > 75–100%)。不同字母代表具顯著差異性 (Kruskal-Wallis 無母數檢定後，再以 Dunn's test 進行事後檢定，並以 Holm 校正法取得校正後之 $P_{Holm} < 0.1$)。

Fig. 3. Effect of treatment durations (s) of hypochlorite solution (available chlorine concentration of 200 mg L^{-1}) on the wet rot disease index of white-flesh pitaya fruit. Disease index was rated on a 0–4 scale (0: no symptom; 1: < 25%; 2: > 25–50%; 3: > 50–75%; 4: > 75–100% diseased area). Different letters indicate significant differences among treatments (Kruskal-Wallis test followed by Dunn's test with Holm correction, $P_{Holm} < 0.1$).

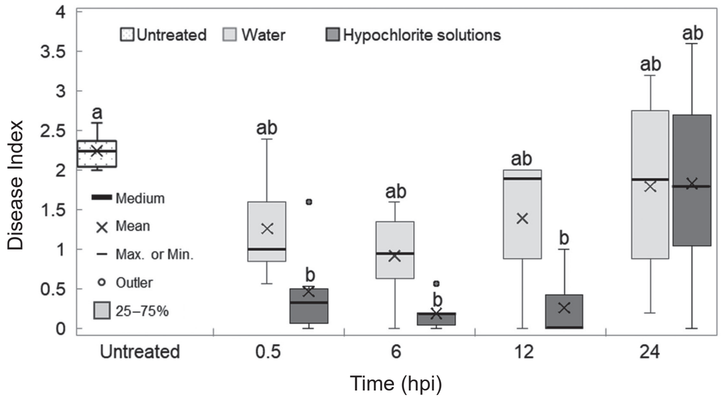

圖 4. 白肉種紅龍果在接種不同時間後，處理次氯酸鹽溶液對於果實濕腐病罹病級數的影響。罹病級數 (disease index)：分為 0–4 級 (0：無病徵；1：罹病面積 < 25%；2：罹病面積 > 25–50%；3：罹病面積 > 50–75%；4：罹病面積 > 75–100%)。不同字母代表具顯著差異性 (Kruskal-Wallis 無母數檢定後，再以 Dunn's test 進行事後檢定，並以 Holm 校正法取得校正後之 $P_{Holm} < 0.1$)。

Fig. 4. Effect of inoculation times before hypochlorite solution treatment on the wet rot disease index of white-flesh pitaya fruit. Disease index was rated on a 0–4 scale (0: no symptom; 1: < 25%; 2: > 25–50%; 3: > 50–75%; 4: > 75–100% diseased area). Different letters indicate significant differences among treatments (Kruskal-Wallis test followed by Dunn's test with Holm correction, $P_{Holm} < 0.1$).

次氯酸鹽溶液防治紅肉種果實濕腐病的效果

為瞭解前述的次氯酸施用條件是否適用在紅肉種果實上，改以紅肉「大紅」品種為供試植物，以上述最佳之次氯酸 200 mg L^{-1}、30 秒條件於 0.5–3 hpi 處理果實後觀察罹病狀況 (圖 5)。未處理組與水處理組的平均罹病級數為 1.3 ± 0.5 與 1.4 ± 0.4，次氯酸鹽溶液處理組的果實平均罹病級數微幅提升為 1.7 ± 0.2，三者

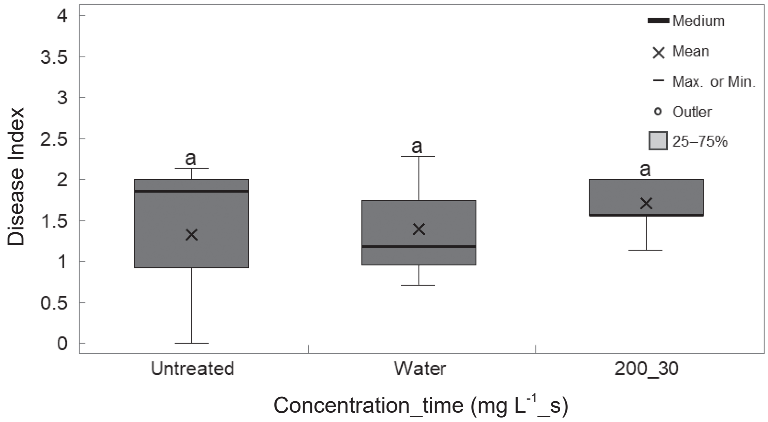

圖 5. 紅肉種紅龍果以有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液處理後，對於果實濕腐病罹病級數的影響。罹病級數 (disease index)：分為 0–4 級 (0：無病徵；1：罹病面積 < 25%；2：罹病面積 > 25–50%；3：罹病面積 > 50–75%；4：罹病面積 > 75–100%)。不同字母代表具顯著差異性 (Kruskal-Wallis 無母數檢定後，再以 Dunn's test 進行事後檢定，並以 Holm 校正法取得校正後之 P_{Holm} < 0.1)。

Fig. 5. Effect of treatment with a hypochlorite solution containing 200 mg L^{-1} of available chlorine on the disease index of wet rot in red-fleshed dragon fruit. Disease index was rated on a 0–4 scale (0: no symptom; 1: < 25%; 2: > 25–50%; 3: > 50–75%; 4: > 75–100% diseased area). Different letters indicate significant differences among treatments (Kruskal-Wallis test followed by Dunn's test with Holm correction, P_{Holm} < 0.1).

在統計上皆無顯著性差異 (顯著水準為 P_{Holm} < 0.1)。

從上述結果顯示，以白肉種果實為供試材料得到的次氯酸鹽處理條件對降低紅肉種「大紅」品種紅龍果感染 *G. persicaria* 的罹病級數無效，甚至會微幅增加。

次氯酸鹽溶液對田間自然感染果實的防治試驗

為瞭解實驗室所得的次氯酸鹽條件是否適用於防治田間自然感染的果實，隨機於主要產區彰化縣二林鎮取得成熟之白肉種果實進行試驗，亦取得「大紅」紅肉種果實同步測試防治效益。處理組為果實於取回當天以次氯酸 200 mg L^{-1}、30 秒處理，對照組不處理。後續果實放置在適合 *G. persicaria* 發病的環境促使濕腐病發病，直到 4–6 日後觀察罹病級數與發病率，以發病率計算防治率 (表 2)。在白肉方面試驗重複 5 次，其中有 4 次之次氯酸鹽溶液處理具防治趨勢，處理後平均罹病級數值多數顯著低於未處理組，平均發病率由 43.0 ± 6.5% 顯著降至 9.4 ± 4.5%，平均防治率 79.0 ± 11.3% (P_{Holm} < 0.05)。然而，另一次未顯示明顯防治效果，次氯酸鹽處理者與未處理者平均罹病級數相似，發病率為皆為 83.3%，防治率為 0% (顯著水準為 P_{Holm} < 0.05)。

在紅肉方面試驗重複 5 次，其中 1 次之次氯酸鹽溶液處理具防治趨勢，處理後平均罹病級數值低於未處理組的，但不顯著 (P_{Holm} > 0.05)，發病率由 83.3% 降至 58.3%，防治率 30.0%。然而，另 4 次出現對防治無效果或具負效果的趨勢，處理後平均罹病級數值皆高於未處理組的，平均發病率由 43.0 ± 20.8% 升至 69.2 ± 13.9%，惟統計上不具有顯著性差異 (顯著水準為 P_{Holm} < 0.05)。

討論

次氯酸鹽類溶液內氯存在型態受 pH 影響而動態改變，氯在 pH 2 以下以 Cl_2 形式為主；pH 2.0–7.5 間以 HOCl 形式為主，並在 pH 4.0–5.5 間達最大量；pH 7.5 以上則逐漸以 OCl^- 形式為主 (Boecker *et al*. 2023)。本研究使用的次氯酸製造機製出的溶液 pH 為 8.1–8.4 間，所得的溶液主要以次氯酸鹽 OCl^- 形式 (約 78–85%) 存在，其餘為次氯酸 HOCl (15–22%)。

表 2. 自田間或合作社隨機採集紅龍果果實施用次氯酸鹽溶液後紅龍果濕腐病的發病變化。

Table 2. Changes in disease status of pitaya wet rot after applying hypochlorite solution to fruits randomly collected from pitaya orchards or cooperative farms.

Treatment date	Source	Number of fruits (Untreated/ClO^-)	Average disease index[z]			Disease incidence (%)[z]		
			Untreated	ClO^-		Untreated	ClO^-	Control rate
White flesh								
With significant disease reduction								
2022/8/4	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 1	13/13	0.6 ± 0.2 a	0.1 ± 0.1 b		46.2	7.7	83.3
2022/9/6	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 2	22/23	0.5 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a		40.9	21.7	46.9
2024/7/12	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 3	12/12	1.1 ± 0.3 a	0.8 ± 0.1 b		58.3	8.3	85.7
2024/7/19	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 4	15/14	0.4 ± 0.2 a	0.0 ± 0.2 b		26.7	0.0	100.0
					Average	43.0 ± 6.5 a	9.4 ± 4.5 b	79.0 ± 11.3
Without significant disease reduction								
2024/7/19	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 5	12/12	2.0 ± 0.3 a	2.2 ± 0.3 a		83.3	83.3	0.0
Red flesh								
With significant disease reduction								
2022/9/7	Erlin farmer 1	12/12	2.3 ± 0.4 a	1.7 ± 0.4 a		83.3	58.3	30.0
Without significant disease reduction								
2022/8/4	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 6	13/12	0.7 ± 0.3 a	1.2 ± 0.3 a		38.5	66.7	-73.3
2022/9/27	Waipu farmer	12/13	1.2 ± 0.5 a	2.1 ± 0.4 a		33.3	76.9	-130.9
2023/7/1	Erlin Yuandou Cooperative, farmer 7	11/13	2.5 ± 0.5 a	1.8 ± 0.3 a		100.0	100.0	0.0
2024/7/5	Jiji farmer	9/9	0.0 ± 0.0 a	0.7 ± 0.4 a		0.0	33.3	N/A[y]
					Average	43.0 ± 20.8 a	69.2 ± 13.9 a	-

[z] Disease index was rated on a 0–4 scale (0: no symptom; 1: < 25%; 2: > 25–50%; 3: > 50–75%; 4: > 75–100% diseased area). Disease incidence (%) = (number of infected fruits/total fruits) × 100%; Control efficacy (%) = [(incidence of control − incidence of treatment)/incidence of control] × 100%. Mean ± *SE*. Different letters indicate significant differences among treatments (Kruskal-Wallis test followed by Dunn's test with Holm correction, $P_{Holm} < 0.05$). Comparisons of average disease index were conducted only within each tests; Comparisons between white flesh and red flesh were not performed.

[y] Not applicable. This data was not included in the average of control rate.

製造機使用的原料為食鹽 NaCl，因此溶液內含有 Na^+，可能與 OCl^- 結合成 NaOCl (次氯酸鈉)。目前關於『次氯酸水或次氯酸鹽殺菌劑』名稱在國內仍未有共識 (Wang 2020)，本研究以『次氯酸鹽溶液』作為稱呼，並以測定之有效氯濃度來表示次氯酸鹽 OCl^- 濃度高低。

有效氯濃度在 200 mg L^{-1} 以內對於 *G. persicaria* 菌絲的生長抑制效果低，但濃度在 150 mg L^{-1} 以上的次氯酸鹽溶液處理對 *G. persicaria* 孢子發芽抑制約略高於 50%，而 200 mg L^{-1} 以上即可達 100% 抑制效果 (表 1)。抑制孢子發芽為防治紅龍果濕腐病的關鍵之一 (Lin *et al*. 2020)，因此次氯酸鹽溶液具有防治紅龍果濕腐病的潛力，惟因為對菌絲抑制效果不明顯，因此需要在感染前期使用。

本研究中，白肉種果實各別浸泡在 100 與 200 mg L^{-1} 以上的次氯酸鹽溶液時間越久，例如各別超過 10 與 5 分鐘以上，罹病級數反而提高 (圖 2)；本實驗室在其他試驗中的觀察也發現，果實浸泡在次氯酸鹽溶液的時間越久，冷藏 4 週後越容易出現表皮褐化斑點等類似傷害現象 (未顯示的資料)。另外，在 Lin *et al*. (2014) 研究顯示，傷口有助於 *G. persicaria* 感染紅龍果果實。推測果實在接觸到不適當的次氯酸鹽條件時 (如濃度或處理時間不適當)，可能在果實表面產生更多的傷害；例如造成微型的傷口，讓未被次氯酸鹽除盡的殘留 *G. persicaria* 病原菌更易入侵。雖然高濃度的次氯酸鹽溶液可抑制 *G. persicaria* 菌絲生長與孢子發芽 (表 1)，但也需考慮對果實的影響性，浸泡高濃度與長時間的次氯酸鹽溶液可能對防治紅龍果濕腐病反而適得其反。

本研究顯示，在 12 hpi 內的施用次氯酸鹽溶液有較佳的防治效果 (圖 4)，此可能跟病原菌的發展進程有關。真菌類病原菌以孢子狀態成功於植物體內建立感染的階段大致可分為『附著 (attachment of pathogen to host)』、『孢子發芽 (spore germination)』、『入侵 (penetration)』、『菌絲生長 (growth)』及『建立族群 (colonization)』(Agrios 2005)，時間長短視病原菌特性而異。雖然目前 *G. persicaria* 侵染植物體的顯微病程發展尚未清楚，但紅龍果濕腐病從果實接種到發病僅需 3–4 日 (Lin *et al*. 2014)，屬發病較快的病害種類。已知次氯酸鹽僅對 *G. persicaria* 孢子具較高的抑制效果 (表 1)，而在 12 hpi 前施用次氯酸鹽才具備良好防治效果 (圖 4)，由此推測 12 hpi 以前是孢子發芽侵染果實的關鍵時刻；次氯酸鹽對菌絲抑制效果不佳，而在 24 hpi 施用次氯酸鹽的防治效果不佳，推測 24 hpi 病原菌可能已侵入紅龍果果實內，甚至並開始出現菌絲生長，此時次氯酸鹽除了無法抑制菌絲生長外，可能也無法深入果皮內殺菌。

從人工接種試驗可發現 (圖 1、2)，0.5 hpi 後施用水仍與未處理 (對照組) 的罹病級數相似。顯示即便水沖刷，後續病勢發展亦不受明顯干擾，*G. persicaria* 的感染在 0.5 hpi 即建立。然而，不同的是，在探討感染時間長短與次氯酸鹽溶液的防治效果差異中 (圖 4)，與未處理相比，水處理之罹病級數亦出現降低的趨勢。推測原因之一或許是菌株在長期培養基條件下繼代培養發生異常，如造成附著果實表面的能力衰退，以致水沖刷即脫落果表；但本試驗中未處理組的罹病級數及發病時間與先前試驗的結果相似，顯示後續的入侵以及建立族群的能力不受影響。另外，在本試驗中 (圖 4)，雖然『在 12 hpi 前處理次氯酸鹽溶液者，罹病級數較水處理組降低』的趨勢存在，然而次氯酸鹽處理組與水處理組間在統計上不若先前的試驗有顯著差異性 (圖 1、2)。其原因除了上述討論的菌株狀況外，亦可能為每批次的接種條件微幅差異，如接種室溫溼度或果實成熟度等，造成各次罹病狀況差異幅度大，導致數據不顯著。

在 6 hpi 處理次氯酸鹽溶液者罹病級數最低，雖然與 0.5 與 12 hpi 的罹病級數在統計上沒有顯著性差異；根據未顯示的資料，*G. persicaria* 的孢子在 24–28℃常溫 PDA 培養基下於 7 時以內孢子發芽率即達 50–90%。推測 6 hpi 前後是孢子發芽並轉換成入侵的重要階段，次氯酸除了直接抑制孢子發芽外，或許在抑制入侵階段扮演關鍵角色。關於 *G. persicaria* 的發病過程若能有更多的瞭解，應越有助於發展合適的防治策略，未來值得進一步探討。

在人工感染防治試驗中，雖然每批次間的果實與感染條件有些微差異，但較田間自然感染者條件相對一致，試驗變因僅為處理與否等單一因子。因此，取各處理組內生物重複數之平均罹病級數為單次試驗代表數值，以降低個體差異，並且重複 3 次試驗以上取得重複數值進行統計檢定。在試驗中，人工接種的病原菌量高，且自接種開始即給予合適的發病環境，對照組與處理組的發病率多數可達近 100%。在此人為的極端高發病壓力下，為最大篩選出具潛在防治效果之處理組，僅採罹病級數探討各處理對於發病嚴重的影響性，且以 P_{Holm} < 0.1 視為具顯著差異性。在田間自然感染防治試驗中，除試驗變因可控外，其他各批次的果實樣本其栽培環境與季節，尤其田間感染狀況差異程度大，如感染時間長短不同、病原接種量高低不均一、田間不同病原菌之病原性強弱不同及感染時環境條件各異等，各批次果實樣本整體變異度大。因此在分析平均罹病級數時，則改以增加生物重複數至 9–23 以降低個體差異的影響，且僅比較同一批次處理組間的差異，未以各批次間的平均值差異進行統計檢定，以排除果實樣本差異的干擾，並以 P_{Holm} < 0.05 作為顯著水準，以符合一般學術慣例。至於發病率的統計方式則受限於每次試驗僅可得單一代表值，因此仍以各次試驗的發病率作為重複值，取得各次發病率後比較各組平均發病率的差異。紅龍果濕腐病可造成果實腐爛且發病快速，果實一旦發病幾乎失去商品價值。因此，評估防治效果的高低時，相較於罹病級數應以發病率高低更符合實際需求。觀察田間自然感染防治試驗的發病率，可知各地的發病率不若人工感染防治試驗中的高，顯示本研究中的人工接種確實為極端的狀況；另外，白肉果實經過次氯酸鹽溶液處理後，不僅『罹病級數』降低，更重要的防治指標『發病率』亦出現降低情形，確認透過本研究篩選方式所得的防治條件適用於田間自染感染者，可達到防治效果。

田間自然感染防治研究中的果實，是隨機取自當天早上送往合作社的果實，或是取自特定農民於個人集貨場裝箱之果實，隨後帶回實驗室進行次氯酸鹽溶液處理，經過一段時間後觀察罹染濕腐病的狀況，其他病害發病狀況暫忽略不計。白肉種採後處理的 5 次試驗中，僅出現 1 次無防治效果 (表 2)。該次係蒐集自 2024 年 7 月 19 日於二林原斗合作社農友，對照組的罹病級數與發病率為 2 ± 0.3 與 83.3%，在 5 組的試驗中屬罹病狀況較嚴重的一次。關於罹病狀況嚴重是否會降低次氯酸鹽類的防治效果，根據本研究的人工接種試驗，未處理的對照組罹病級數自 1.5 ± 0.1 至 3.0 ± 0.2 時 (圖 1–4)，發病率近 100% (資料未顯示)，施用合適條件的次氯酸鹽溶液的處理組仍具良好降低罹病級數之效果。因此在田間高罹病級數與高發病率之狀況下，次氯酸鹽溶液防治效果是否會失效仍有待確認。另外，在接種時間長短與防治效果的試驗中可知，在 12 hpi 內處理次氯酸則防治效果佳；若 24 小時後才處理次氯酸則防治效果差 (圖 4)。病原菌 *G. persicaria* 在田間的主要感染時期為果實成熟後期，特別是採收時，果實容易因為人為採收作業出現傷口，而促進 *G. persicaria* 感染 (Lin *et al*. 2025)。按照農民習慣，送合作社運銷的果實常係當天或前一日採收的果實，此時的果實距感染可能已超過 12 小時。因此，該次不良的防治效果原因亦不排除可能跟該果園的果實罹病時間較久有關。

從白肉種果實得到的最適次氯酸鹽處理條件，於「大紅」紅肉種果實上測試防治的效果試驗時。得知在人工接種 *G. persicaria* 的測試中，與對照組 (包括未處理組與水處理組) 相比，次氯酸鹽處理過的果實罹病級數並未出現降低趨勢或顯著差異 (圖 5)。田間採後處理結果也顯示此條件對紅肉種效果不佳，試驗重複 5 次，僅 1 次具防治效果，其他 4 次甚至出現罹病狀況反而更嚴重的趨勢。推測病害變嚴重的原因，可能跟不適當的次氯酸鹽濃度與時間傷害紅肉種果實表面有關。當果實接觸到氯系藥劑，體內呼吸及其他生理代謝亦會改變 (Guo *et al*. 2013)。比較紅肉種與白肉種果皮的性質，紅肉種果皮的酚類 (phenolics)、黃酮類化合物 (flavonoid) 含量以及整體的抗氧化能力較白肉種的高。然而，特別的是，白肉種果實

表皮卻有較高的維他命 C 含量 (Senadheera & Abeysinghe 2015)。其中，維他命 C 除可保護細胞抵禦因次氯酸引起的傷害，還能調節次氯酸在細胞內的作用，從而影響生理與病理上的發展 (Carr *et al*. 2000)。紅肉種與白肉種的表皮成分差異大，紅肉種較白肉種不耐次氯酸鹽處理的原因仍有待確認。綜合以上結果，以白肉種測得之次氯酸鹽條件不適用於紅肉種。紅肉種紅龍果是否適用次氯酸達到防治或延長櫥架衰退期的時間，仍需另外評估。

本研究發現白肉紅龍果適用的次氯酸鹽溶液其有效氯濃度高達 200 mg L^{-1} (pH 8.1–8.4 下)，最適合處理時間在 30–60 秒內，較其他研究試驗屬高濃度與短時間。例如，Tang (2022) 在降低金柑腐損率的試驗中，係處理以有效氯濃度較低的 40 mg L^{-1} 次氯酸水溶液，且浸泡時間為 5 分鐘。本研究中有效氯 50 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液處理 1 分鐘下，對紅龍果濕腐病防治效果有限 (圖 1)，而在 100 與 200 mg L^{-1} 下延長處理時間可能出現反效果 (圖 2)；然而，低濃度 (如 50 mg L^{-1} 以下) 之次氯酸鹽溶液延長處理時間是否能達到抑制紅龍果濕腐病的效果尚未經測試，是未來可嘗試的方向。另外，本研究使用的次氯酸鹽溶液 pH 為 8.1–8.4 間，溶液內主要的有效氯係殺菌能力較次等的 OCl^- 形式，而更強的殺菌物質 HOCl 形式係在 pH 4–5.5 間達最高濃度 (Boecker *et al*. 2023)。未來可朝調整降低 pH 值以增加溶液的 HOCl 形式，進而增加潛在殺菌能力，期藉此降低使用之次氯酸鹽溶液濃度。

本研究為首次探討次氯酸鹽溶液用於防治 *G. persicaria* 引起的紅龍果採後濕腐病的報告，確定針對白肉種紅龍果的處理條件與限制。研究顯示，若白肉種果實在接種 *G. persicaria* 的 12 小時內及時處理有效氯 200 mg L^{-1} 的次氯酸鹽溶液 (pH 8.1–8.4) 30–60 秒，能顯著降低罹病級數。進一步自集貨場蒐集果實的採後處理結果，更顯示此次氯酸鹽條件具穩定的防治效果；即便錯過最適時間導致防治效果不佳，亦不會對果實造成負面影響。建議在病原菌可能附著果實後，儘速於 12 小時內施用次氯酸鹽溶液，以達更好的防治效果。

誌謝

本研究承蒙農業部科技計畫 114 農科 -15.1.1-農-02 計畫經費支持；感謝林依佳與詹月梅擔任研究助理協助完成、農業試驗所作物組楊滿霞博士提供生物統計諮詢、保證責任彰化縣原斗果菜生產合作社許惠萍主席協助蒐集果實，謹此致謝。

引用文獻

Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press. Burlington, MA. 922 pp. doi:10.1016/C2009-0-02037-6

Boecker, D., Z. Zhang, R. Breves, F. Herth, A. Kramer, and C. Bulitta. 2023. Antimicrobial efficacy, mode of action and *in vivo* use of hypochlorous acid (HOCl) for prevention or therapeutic support of infections. GMS Hyg. Infect. Control 18:Doc07. doi:10.3205/dgkh000433

Carr, A. C., M. R. McCall, and B. Frei. 2000. Oxidation of LDL by myeloperoxidase and reactive nitrogen species. Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 20:1716–1723. doi:10.1161/01.ATV.20.7.1716

Carrillo-Fasio, J. A., P. R. Nuñez-García, R. J. Salazar-Mesta, G. A. Mora-Romero, K. Y. Leyva-Madrigal, I. Cruz-Lachica, and J. M. Tovar-Pedraza. 2022. First report of soft rot of pitahaya fruit caused by *Gilbertella persicaria* in Mexico. Plant Dis. 106:3218. doi:10.1094/PDIS-01-22-0142-PDN

Chang, K. D. 2006. Genetic relationships among *Hylocereus* and *Selenicereus* lines based on RAPD markers. Master Thesis. Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University. Taipei, Taiwan. 47 pp. (in Chinese with English abstract) doi:10.6342/NTU.2006.00245

Chiabrando, V., C. Peano, and G. Giacalone. 2017. The efficacy of different postharvest treatments on physico-chemical characteristics, bioactive components and microbiological quality of fresh blueberries during storage period. Food Res. 1:240–248. doi:10.26656/fr.2017.6.105

Copes, W. E. and P. S. Ojiambo. 2021. Efficacy of hypochlorite in disinfesting nonfungal plant pathogens in agricultural and horticultural plant production: A meta-analysis. Plant Dis. 105:4084–4094. doi:10.1094/PDIS-09-20-2046-RE

Getnet, M., K. Alemu, and B. Tsedaley. 2023. Effect of combined application of carbonate salts and hot water treatment for the management of postharvest anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) of

papaya. Food Sci. Nutr. 11:3811–3819. doi:10.1002/fsn3.3366

Guo, L. W., Y. X. Wu, Z. C. Mao, H. H. Ho, and Y. Q. He. 2012. Storage rot of dragon fruit caused by *Gilbertella persicaria*. Plant Dis. 96:1826. doi:10.1094/PDIS-07-12-0635-PDN

Guo, Q., X. Lv, F. Xu, Y. Zhang, J. Wang, H. Lin, and B. Wu. 2013. Chlorine dioxide treatment decreases respiration and ethylene synthesis in fresh-cut 'Hami' melon fruit. Intl. J. Food Sci. Technol. 48:1775–1782. doi:10.1111/ijfs.12149

Huang, S. T. and H. L. Lin. 2009. Compositional changes in the fruit and cladode of *Hylocereus undatus* during fruit growth and maturation. J. Taiwan Soc. Hort. Sci. 55:31–42. (in Chinese with English abstract) doi:10.6964/JTSHS.200903.0031

Li, G., F. Meng, X. Wei, and M. Lin. 2019. Postharvest dipping treatment with BABA induced resistance against rot caused by *Gilbertella persicaria* in red pitaya fruit. Sci. Hortic. 257:108713. doi:10.1016/j.scienta.2019.108713

Lin, C. P., J. N. Tsai, T. F. Hsieh, and P. J. Ann. 2020. Chemical screening and field trials for controlling pitaya flower wet rot caused by *Gilbertella persicaria*. J. Taiwan Agric. Res. 69:207–217. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR.202009_69(3).0003

Lin, C. P., M. C. Hsu, J. N. Tsai, J. W. Fan, and J. H. Huang. 2025. Biological characteristics and pathogenicity of pitaya isolates of *Gilbertella persicaria*. J. Taiwan Agric. Res. 74:497−513. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR.202512_74(4).0008

Lin, J. P., P. J. Ann, J. N. Tsai, Z. H. Hsu, and J. T. Chang. 2014. Flower and fruit wet rot of pitaya (*Hylocereus* spp.) caused by *Gilbertella persicaria*, a new disease record in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 23:109–124. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.201406_23(2).0003

Liu, P. C. and J. M. Yu. 2021. Industry overview. p.5–20. *in*: Pitaya Export Process Technical Handbook. (Wu, J. D., K. E. Zhuang, Y. Z. Lin, and X. E. Jiang, eds.) Taiwan Agric. Res. Inst. Pub. No. 232. Taichung, Taiwan. 88 pp. (in Chinese)

Love, J., R. Selker, M. Marsman, T. Jamil, D. Dropmann, J. Verhagen, ... E. J. Wagenmakers. 2019. JASP: Graphical statistical software for common statistical designs. J. Stat. Softw. 88(2):1–17. doi:10.18637/jss.v088.i02

Pao, S., D. F. Kelsey, M. F. Khalid, and M. R. Ettinger. 2007. Using aqueous chlorine dioxide to prevent contamination of tomatoes with *Salmonella enterica* and *Erwinia carotovora* during fruit washing. J. Food Prot. 70:629–634. doi:10.4315/0362-028X-70.3.629

Senadheera, S. P. N. M. K. and D. C. Abeysinghe. 2015. Bioactive compounds and total antioxidant capacity of different tissues of two pitaya (dragon fruit) species grown in Sri Lanka. J. Food Agric. 8:33–40. doi:10.4038/jfa.v8i1-2.5196

Shin, Y. J., H. Y. Song, and K. B. Song. 2012. Effect of a combined treatment of rice bran protein film packaging with aqueous chlorine dioxide washing and ultraviolet-C irradiation on the postharvest quality of 'Goha' strawberries. J. Food Eng. 113:374–379. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.07.001

Suslow, T. V. 2000. Chlorination in the production and postharvest handling of fresh fruits and vegetables: Chap. 6. fruit and vegetable processing. p.2–15. *in*: Use of Chlorine-Based Sanitizers and Disinfectants in the Food Manufacturing Industry. (McLaren, D., ed.) Food Processing Center at the University of Nebraska, Lincoln, NE. 126 pp.

Taba, S., M. Nakazato, K. Nasu, T. Takushi, and Z. Moromizato. 2011. Gilbertella stem rot of pitaya (*Hylocereus undatus*), a new disease caused by *Gilbertella persicaria*. Jpn. J. Phytopathol. 77:291–294. (in Japanese with English abstract) doi:10.3186/jjphytopath.77.291

Taba, S., N. Miyahira, M. Nakazato, M. Suzuki, R. Suwa, and K. T. Sekine. 2022. Ecology of pitaya stem rot caused by *Gilbertella persicaria* and its biological control by phyllosphere bacteria. Plant Pathol. 71:426–436. doi:10.1111/ppa.13475

Tang, C. H. 2022. Studies on the effects of electrolyzed hypochlorous acid water immersion and heat treatment on the fruit quality and storability of kumquat (*Fortunella* spp). J. Agric. Assoc. Taiwan 22:27–45. (in Chinese with English abstract) doi:10.6730/JAAT.202205_22(1).0002

Vo, X. T., T. T. Pham, N. H. Huynh, and N. N. Nguyen. 2024. Isolation and screening rhizobacteria to control *Gilbertella persicaria* causing dragon fruit rot. Acta Agrobot. 77:187896. doi:10.5586/aa/187896

Wang, W. C. 2020. Recognizing the nature of hypochlorous acid water. Taiwan Med. J. 63(5):42–46.

Zhou, B., Y. Luo, Z. Teng, X. Nou, and P. Millner. 2021. Factors impacting chemical and microbiological quality of wash water during simulated dump tank wash of grape tomatoes. J. Food Prot. 84:695–703. doi:10.4315/JFP-20-343

Evaluation of the Effectiveness of Hypochlorite Solution in Controlling Postharvest Wet Rot of Pitaya Fruits

Chu-Ping Lin[1], Chiao-Wen Huang[1], Jin-Hsing Huang[2], Jyh-Nong Tsai[3], and Min-Chi Hsu[4,*]

Abstract

Lin, C. P., C. W. Huang, J. H. Huang, J. N. Tsai, and M. C. Hsu. 2026. Evaluation of the effectiveness of hypochlorite solution in controlling postharvest wet rot of pitaya fruits. J. Taiwan Agric. Res. 75(1):103–116.

Pitaya (*Hylocereus* spp.) is an economically important fruit crop, and wet rot disease caused by *Gilbertella persicaria* has become a major concern to the industry. This study aimed to evaluate the efficacy of hypochlorite solution (pH 8.1–8.4) in controlling postharvest wet rot disease of pitaya fruit. In an *in vitro* assay, hypochlorite solution with available chlorine concentrations up to 200 mg L^{-1} didn't significantly inhibit mycelial growth of *G. persicaria*. In contrast, spore germination was effectively suppressed at concentrations above 150 mg L^{-1}. Further artificial inoculation tests using fruits of white-fleshed pitaya cultivar revealed that postharvest treatment with 200 mg L^{-1} hypochlorite solution for 30–60 s significantly reduced the disease index (rated on a 0–4 scale based on the diseased area) of wet rot disease. Evaluations of treatment timing indicated that application within 12 h after inoculation significantly reduced the disease index, whereas treatments applied after 24 h showed no significant difference compared with the untreated control. Notably, with the same treatments, no protective effect was observed on red-flesh pitaya cultivar artificially inoculated with the pathogen. Postharvest treatments of naturally infected fruits under field conditions revealed that application of hypochlorite solution containing 200 mg L^{-1} chlorine reduced the average disease incidence of wet rot in white-flesh pitaya from 43.0 ± 6.5% in untreated fruits to 9.4 ± 4.5%, achieving a control efficacy of 79.0 ± 11.3%. In contrast, the same treatment unexpectedly increased disease incidence in red-flesh pitaya, with the average incidence rising from 43.0 ± 20.8% in untreated fruits to 69.2 ± 13.9%. Overall, fruit postharvest treatment with hypochlorite solution effectively reduces wet rot disease index in white-fleshed cultivar, however, alternative management strategies are required for red-fleshed cultivars.

Key words: *Gilbertella persicaria*, Postharvest treatment, Optimal concentration and duration, Timing of treatment.

Received: September 5, 2025; Accepted: October 30, 2025.
[*] Corresponding author, e-mail: mchsu@tari.gov.tw
[1] Assistant Research Fellows, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
[2] Research Fellow, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
[3] Research Fellow and Division Director, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
[4] Associate Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.